

PENGUKURAN KAPASITANSI KAPASITOR DENGAN MEMANFAATKAN ELEKTROMETER HASIL RANCANGAN BERBASIS MIKROKONTROLER

Sofia

Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
sophieramal@gmail.com

Imam Suchyo

Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang elektrometer berbasis mikrokontroler yang terdiri dari penguat op-amp dengan IC CA3140EZ dan arduino uno ATmega 328P. Selanjutnya alat ini digunakan untuk percobaan membandingkan kapasitansi kapasitor secara seri dan paralel dengan kapasitor tunggal. Prinsip kerja dari alat ini yaitu *charging* dan *discharging*. Variabel manipulasi pada percobaan adalah rangkaian kapasitor dan tegangan input. Data pengukuran yang diperoleh adalah tegangan output yang sebanding dengan muatan pada kapasitor. Tegangan output kemudian digunakan untuk menghitung jumlah muatan dan mencari nilai kapasitansi input. Pada percobaan didapatkan nilai C_{in} sesuai teori dengan perbedaan yang masih dalam batas toleransi dari kapasitansi kapasitor. Percobaan 1 memiliki perbedaan kapasitansi terbesar dengan teori yaitu pada rangkaian seri sebesar 14,4%. Percobaan 2 memiliki perbedaan kapasitansi terbesar dengan teori dan masih pada rangkaian seri sebesar 14,8%. Adanya perbedaan ini disebabkan oleh faktor seperti sifat induktif pada penghantar, perbedaan angka dibelakang koma, dan adanya tegangan hanyut.

Kata kunci: elektrometer, kapasitor, *charging*, *discharging*.

Abstract

This intended purpose of this study is to design an electrometer based microcontroller consist of amplifier op-amp with IC CA3140EZ and arduino uno ATmega 328P. Furthermore, it was used to experiment compare capacitance capacitor in series and in parallel with a single capacitor. The principle of these is charging and discharging. The manipulated variable in experiment were the connection of capacitors and the input voltage. The obtained measurement data was an output voltage that is proportional to the charges on the capacitor. This output voltage is then used to calculate the amount of charges and find the value of input capacitance. On trial we obtained the value C_{in} is suitable to the theory with difference capacitance still within the limits of tolerance of capacitance capacitor. The 1st experiment has the largest difference capacitance with the theory that was series circuit to the number of 14.4%. The 2nd experiment has the largest capacitance difference with theory and still on series circuit to the number of 14.8%. The existence of these differences are caused by factors such as the inductive nature of the conductor, the difference numbers behind comma, and the voltage drift.

Keywords: electrometer, capacitor, charging, discharging.

PENDAHULUAN

Elektrostatik atau listrik statis merupakan bentuk energi dan merupakan ketidakseimbangan antara muatan positif dan negatif dalam permukaan suatu benda. Elektrostatik dapat menyebabkan muatan yang sejenis saling tolak menolak dan muatan yang berbeda jenis saling tarik menarik. Menurut Beaty (1999:2) elektrostatik atau listrik statis merupakan tegangan tinggi listrik. Dimana tegangan listrik seperti ini tidak dapat diukur hanya dengan menggunakan voltmeter normal yang memiliki impedansi sekitar 1-10 megaohm (Hull, 1998:3). Disini kita memerlukan voltmeter yang memiliki impedansi sekitar teraohm atau lebih untuk bisa mengukur arus yang sangat kecil pada listrik statis ini.

Beberapa percobaan sederhana dilakukan untuk memahami fenomena elektrostatik ini, diantaranya seperti pada percobaan Leybold Didactic P3.1.7.2.



Gambar 1. Percobaan Leybold Pengukuran Kapasitansi (Leybold Didactic P3.1.7.2.)

Pada percobaan ini elektrometer digunakan untuk menentukan nilai kapasitansi dari pelat sejajar. Tegangan input yang diberikan pada pelat sejajar akan menghasilkan beda potensial pada kedua pelat dan mengakibatkan sejumlah muatan mengalir pada pelat. Elektrometer tidak dapat mengukur secara langsung muatan tapi dapat mengukur beda potensial diantara kedua pelat. Dengan mengetahui nilai kapasitansi pelat sejajar maka muatan akan memenuhi

$$Q_1 = C_{pelat} \cdot V_{in} \quad (1)$$

Karena kapasitansi pelat belum diketahui maka diperlukan *reference* atau pembanding yang berupa kapasitor yang digandeng pada input elektrometer, sehingga muatan yang mengalir menuju elektrometer akan memenuhi kapasitor *reference* terlebih dahulu dan muatan yang terukur oleh elektrometer memenuhi

$$Q_2 = C_{reference} \cdot V_{out} \quad (2)$$

Dengan nilai $Q = Q_1 = Q_2$ didapatkan

$$C_{pelat} = \frac{Q}{V_{in}} \quad (3)$$

Nilai kapasitansi ini kemudian dibandingkan secara rangkaian seri dan paralel dimana untuk rangkaian seri berlaku

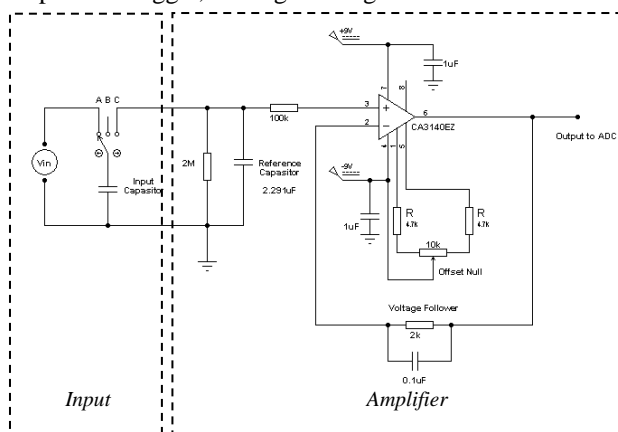
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (4)$$

dan untuk rangkaian paralel berlaku

$$C = C_1 + C_2 \quad (5)$$

METODE

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat ukur muatan listrik dengan memanfaatkan elektrometer hasil rancangan. Selanjutnya alat tersebut digunakan untuk menentukan total kapasitansi kapasitor dalam rangkaian seri dan paralel serta membandingkan hasilnya dengan kapasitor tunggal, sekaligus mengetahui muatan.



Gambar 2. Rangkaian Elektrometer
(Sumber Pribadi)

Instrumen yang digunakan berupa elektrometer dengan penguat berbasis op amp dan mikrokontroler.

Adapun rangkaian yang digunakan yaitu rangkaian *voltage follower*. Tipe IC yang digunakan yaitu CA3140EZ dengan MOSFET input sehingga memiliki kelebihan impedansi masukan (Z_{IN}) yang sangat tinggi, sekitar $1,5 T\Omega$ dan input arus (I_I) yang sangat rendah sekitar $10 pA$ pada tegangan ± 15 Volt. Dengan input masukan yang tinggi diharapkan dapat mengurangi sifat kapasitif, resistif, dan induktif dari kabel sehingga tidak berpengaruh pada pengukuran. Selain itu dapat mengurangi *error* dalam pembacaan alat ukur saat terhubung dengan tegangan tinggi.

Rancangan yang digunakan seperti pada Gambar 2, yang mana terdapat dua bagian yaitu bagian *input* dan *amplifier* yang menjadi kesatuan dalam elektrometer. Kedua bagian ini akan dibandingkan untuk menghitung nilai muatan, Q , yang terukur sebagaimana yang telah dijelaskan pada persamaan 1,2, dan 3.

Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menentukan terlebih dahulu nilai kapasitor yang akan digunakan agar output dari elektrometer tidak saturasi. Rancangan elektrometer yang telah dibuat dengan sumber daya op amp sebesar ± 9 Volt, maka menurut intersil data sheet (1998) untuk CA3140, CA3140A tegangan keluaran maksimal yaitu ± 7 Volt sehingga jumlah muatan yang terukur dalam batas yaitu

$$\begin{aligned} Q_{min} &< Q_{measured} < Q_{max} \\ C_{ref} \cdot V^- &< Q_{measured} < C_{ref} \cdot V^+ \\ (2,291 \mu F) \cdot (-7V) &< Q_{measured} < (2,291 \mu F) \cdot (+7V) \\ (-16,037 \mu C) &< Q_{measured} < (+16,037 \mu C) \end{aligned} \quad (6)$$

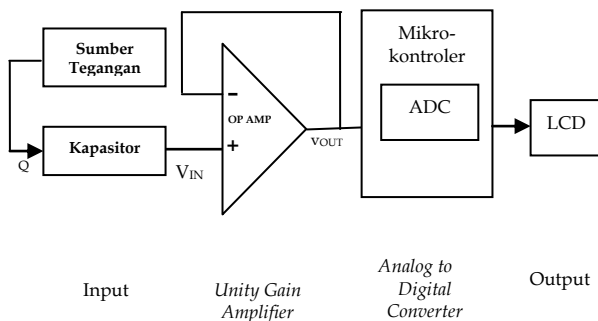
Pada mikrokontroler arduino uno 328P tegangan output yang dihasilkan hanya untuk nilai diatas 0 Volt sehingga nilai negatif tidak terukur, untuk itu persamaan (6) menjadi

$$Q_{measured} < (16,037 \mu C) \quad (7)$$

Sesuai dengan perumusan diatas maka dalam hal ini peneliti menggunakan nilai kapasitansi untuk kapasitor C_1 dan C_2 sebesar $100 nF$ dengan toleransi sebesar 10% yang mana nilai ini masih dalam batas alat ukur. Adapun alur percobaan yang dilakukan seperti pada Gambar 3.

Terdapat dua percobaan dalam penelitian ini, yaitu menentukan hubungan antara kapasitansi terhadap jumlah muatan dan menentukan pengaruh sumber tegangan terhadap jumlah muatan, sehingga untuk percobaan pertama variabel operasional yang akan digunakan meliputi variabel manipulasi yaitu kapasitansi kapasitor, dari manipulasi tersebut maka diharapkan respon tegangan yang sebanding terhadap jumlah muatan, dalam hal ini maka yang dikontrol merupakan sumber tegangan yang diberikan, sedangkan untuk percobaan kedua variabel operasional yang akan digunakan meliputi variabel manipulasi

yaitu sumber tegangan, dari manipulasi tersebut maka diharapkan respon tegangan yang sebanding terhadap jumlah muatan, dalam hal ini maka yang dikontrol merupakan kapasitansi kapasitor.

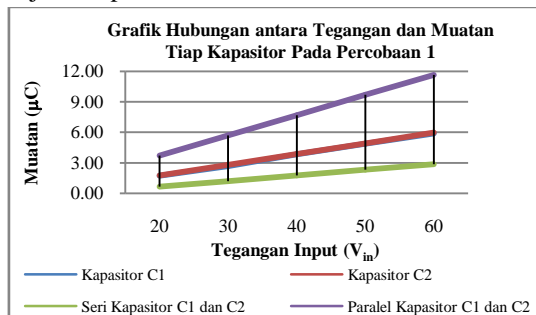


Gambar 3. Diagram alur penelitian

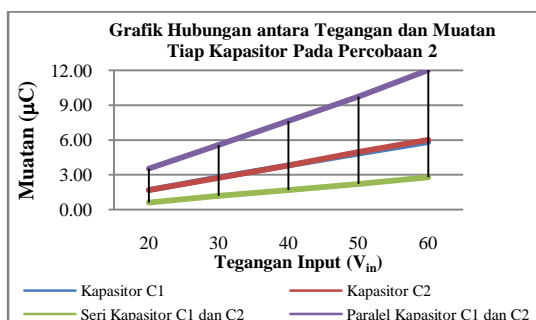
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran kapasitansi menggunakan elektrometer hasil rancangan ini dilakukan dalam 2 kali percobaan untuk mengetahui tingkat ketepatan alat yaitu pada tanggal 4 dan 6 Oktober 2016. Data yang diperoleh dari percobaan untuk masing-masing perlakuan kapasitor berupa nilai tegangan V_{out} , dari data ini kemudian dicari nilai Q melalui persamaan (2) dan kemudian mencari nilai C_{in} melalui persamaan (3).

Dari pengukuran jumlah muatan pada kedua percobaan didapatkan hasil perbandingan tegangan, V_{in} , dan muatan, Q , berdasarkan persamaan (1) dan (2) pada masing-masing perlakuan kapasitor seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Tegangan dan Jumlah Muatan Tiap Kapasitor Pada Percobaan 1



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Tegangan dan Jumlah Muatan Tiap Kapasitor Pada Percobaan 2

Pada gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa teori $Q=CV$ berlaku pada hasil tersebut dimana semakin besar nilai tegangan maka semakin besar juga jumlah muatan yang mengalir, ditunjukkan dengan grafik yang naik ke atas. Dan semakin besar nilai kapasitansi maka besar pula jumlah muatan, yakni untuk tegangan yang sama maka jumlah muatan pada rangkaian paralel > kapasitor tunggal > rangkain seri. Adapun grafik untuk kapasitor C_1 dan C_2 hampir segaris, menunjukkan nilai kapasitansi yang digunakan bernilai sama.

Dari Gambar 4 dan 5, peneliti juga dapat mengetahui nilai C_{in} dari persamaan garis pada grafik. Persamaan grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5 memenuhi $y = ax$ dimana persamaan ini sebanding dengan nilai $Q = C_{in} \cdot V_{in}$, sehingga jika $y = 1 \mu C$ dan $x = 10 V$, maka nilai a seharusnya memenuhi

$$a = \frac{y}{x} = \frac{1 \mu C}{10 V} = 100 \text{ nF} \quad (8)$$

Pada percobaan 1 persamaan garis untuk kapasitor C_1 yaitu $y = 1,228x$, $R^2 = 0,962$; C_2 yaitu $y = 1,246x$, $R^2 = 0,958$; Seri yaitu $y = 0,583x$, $R^2 = 0,996$; dan Paralel yaitu $y = 2,457x$, $R^2 = 0,931$. Sehingga diperoleh nilai C_{in} pada tiap-tiap perlakuan kapasitor sebesar:

C_1 : $y = 1,228x$, maka $a = 100 \text{ nF} \times 1,228 = 122,8 \text{ nF}$

C_2 : $y = 1,246x$, maka $a = 100 \text{ nF} \times 1,246 = 124,6 \text{ nF}$

Seri: $y = 0,583x$, maka $a = 100 \text{ nF} \times 0,583 = 58,3 \text{ nF}$

Paralel: $y = 2,457x$, maka $a = 100 \text{ nF} \times 2,457 = 245,7 \text{ nF}$

Pada percobaan 2 persamaan garis untuk kapasitor C_1 yaitu $y = 1,218x$, $R^2 = 0,958$; C_2 yaitu $y = 1,245x$, $R^2 = 0,976$; Seri yaitu $y = 0,560x$, $R^2 = 0,996$; dan Paralel yaitu $y = 2,484x$, $R^2 = 0,962$. Sehingga diperoleh nilai C_{in} pada tiap-tiap perlakuan kapasitor sebesar:

C_1 : $y = 1,218x$, maka $a = 100 \text{ nF} \times 1,218 = 121,8 \text{ nF}$

C_2 : $y = 1,245x$, maka $a = 100 \text{ nF} \times 1,245 = 124,8 \text{ nF}$

Seri: $y = 0,560x$, maka $a = 100 \text{ nF} \times 0,560 = 56,0 \text{ nF}$

Paralel: $y = 2,484x$, maka $a = 100 \text{ nF} \times 2,484 = 248,4 \text{ nF}$

Nilai C_{in} yang didapat dari grafik ini jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran elektrometer maupun nilai yang tertera pada kapasitor. Perbedaan yang jauh ini disebabkan posisi grafik yang tidak sejajar. Seharusnya posisi grafik pada tiap-tiap perlakuan kapasitor sejajar dimana untuk rangkaian seri maka berlaku setengah dari individual kapasitor dan pada rangkaian paralel berlaku dua kali individual kapasitor. Namun pada kenyataannya semakin besar nilai tegangan maka kenaikan grafik semakin besar. Hal ini disebabkan karena perbedaan angka dibelakang koma pada input tegangan dimana untuk tegangan 20-30 Volt input yang terukur dapat terbaca oleh alat ukur sebesar dua angka dibelakang koma, sedangkan pada tegangan 40-60 Volt input yang terukur hanya dapat

terbaca satu angka dibelakang koma. Pembulatan angka tersebut tentunya berpengaruh pada nilai hasil ukur C_{in} .

Adapun nilai kapasitansi C_{in} yang diperoleh berdasarkan persamaan (3) yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. Pengukuran Kapasitansi Kapasitor Perc. 1

Tegangan	Kapasitor yang diukur							
	C ₁	C ₂	Seri C ₁ dan C ₂			Paralel C ₁ dan C ₂		
			Pengukuran Elektrometer	Teori	Error	Pengukuran Elektrometer	Teori	Error
(V)	(nF)	(nF)	(nF)	(nF)	(%)	(nF)	(nF)	(%)
20	85,5	86,9	32,6	43,1	24,4	182,4	172,4	5,8
30	88,0	91,8	39,9	44,9	11,1	187,4	179,7	4,2
40	94,9	95,8	43,5	47,7	8,8	188,8	190,6	1,0
50	96,7	97,8	46,5	48,6	4,4	192,9	194,5	0,8
60	97,4	98,9	47,5	49,1	3,2	192,5	196,3	1,9
Rata-Rata	92,5	94,2	42,0	-	-	188,8	-	-
STDEV	5,4	4,9	6,0	-	-	4,3	-	-

Dari Tabel 1 diatas dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan tegangan input sebesar 20-60V didapatkan nilai kapasitansi rata-rata untuk kapasitor C₁ sebesar $(92,5 \pm 5,4)$ nF dengan ketidakpastian sebesar 5,8%, untuk kapasitor C₂ sebesar $(94,2 \pm 4,9)$ nF dengan ketidakpastian sebesar 5,2%, untuk rangkaian seri C₁ dan C₂ sebesar $(42,0 \pm 6,0)$ nF dengan ketidakpastian sebesar 14,4%, dan untuk rangkaian paralel C₁ dan C₂ sebesar $(188,8 \pm 4,3)$ nF dengan ketidakpastian sebesar 2,3%.

Tabel 2. Pengukuran Kapasitansi Kapasitor Perc. 2

Tegangan	Kapasitor yang diukur							
	C ₁	C ₂	Seri C ₁ dan C ₂			Paralel C ₁ dan C ₂		
			Pengukuran Elektrometer	Teori	Error	Pengukuran Elektrometer	Teori	Error
(V)	(nF)	(nF)	(nF)	(nF)	(%)	(nF)	(nF)	(%)
20	82,6	82,5	30,8	41,3	25,4	175,3	165,1	6,2
30	92,4	90,5	39,3	45,7	14,1	184,7	182,9	1,0
40	94,3	94,6	42,1	47,2	10,8	189,2	188,9	0,2
50	95,9	98,6	44,2	48,6	9,0	193,7	194,5	0,4
60	96,7	100,0	46,0	49,2	6,4	198,7	196,7	1,0
Rata-Rata	92,4	93,2	40,5	-	-	188,3	-	-
STDEV	5,7	7,1	6,0	-	-	9,0	-	-

Dari tabel 2. diatas dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan tegangan input sebesar 20-60V didapatkan nilai kapasitansi rata-rata untuk kapasitor C₁ sebesar $(92,4 \pm 5,7)$ nF dengan ketidakpastian

sebesar 6,2%, untuk kapasitor C₂ sebesar $(93,2 \pm 7,1)$ nF dengan ketidakpastian sebesar 7,6%, untuk rangkaian seri C₁ dan C₂ sebesar $(40,5 \pm 6,0)$ nF dengan ketidakpastian sebesar 14,4%, dan untuk rangkaian paralel C₁ dan C₂ sebesar $(188,3 \pm 9,0)$ nF dengan ketidakpastian sebesar 4,8%.

Berdasarkan hasil diatas maka dapat disimpulkan bahwa untuk keseluruhan percobaan maka terdapat selisih atau simpangan kapasitansi kapasitor yang terukur dengan elektrometer dengan kapasitansi nilai yang tertera pada kapasitor namun masih dalam batas toleransi. Adanya selisih ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti sifat induktif pada penghantar sehingga hambatan penghantar tidak sama dengan nol dan menyebabkan elektron terhambat saat pengukuran. Tentunya hal ini akan mengakibatkan output yang diperoleh tidak sama. Selain itu dari hasil diatas maka dapat dilihat bahwa simpangan dan *error* terbesar banyak terjadi pada pada tegangan 20 Volt dan 30 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai tegangan yang digunakan sebagai input maka semakin besar selisih atau *error* yang didapat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rancangan elektrometer ini tidak dapat digunakan untuk pengukuran dengan sumber tegangan rendah sebagaimana hukum Ohm, $I = \frac{V}{R}$, maka ketika sumber tegangan rendah melewati rangkaian dengan input impedansi yang tinggi maka arus akan sangat kecil sekali, dan dengan elektrometer hasil rancangan ini mungkin tidak dapat terbaca atau terhambat oleh penghantar.

Adapun dari hasil diatas juga diketahui bahwa nilai kapasitansi berubah seiring dengan perubahan nilai tegangan yang mana hal ini tidak sesuai karena kapasitor merupakan komponen yang kapasitansinya tidak bergantung pada tegangan. Namun variasi dari nilai kapasitansi ini masih dalam batas toleransi yang diizinkan kecuali pada beberapa hasil pada tegangan 20 Volt dan 30 Volt. Perubahan nilai kapasitansi seiring dengan perubahan tegangan ini dikarenakan adanya tegangan hanyut yang diakibatkan oleh beberapa masalah pada pengukuran seperti adanya arus bocor atau *leaking current* yang secara perlahan akan mengosongkan kapasitor sehingga nilai tegangan output akan menyimpang dari yang seharusnya, atau dapat disebabkan oleh penambahan arus input pada op-amp yang secara perlahan akan mengisi kapasitor sehingga nilai tegangan output akan bertambah seiring bertambahnya waktu. Hal ini dijelaskan pada halaman www.dicks-website.eu (2016:1) yang mana saat *coulumb meter* dalam keadaan *discharging*, yaitu pada tegangan 0 Volt, secara perlahan tegangan output akan

bertambah dimana seharusnya tegangan output akan tetap konstan selama tidak ada muatan baru.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil diatas maka dapat disimpulkan bahwa untuk keseluruhan percobaan didapatkan nilai kapasitansi C_{in} sesuai dengan yang nilai yang tertera pada kapasitor dan sesuai secara teori dengan simpangan yang masih dalam batas toleransi. Adanya simpangan dan *error* ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti sifat induktif pada penghantar, perbedaan angka dibelakang koma pada input tegangan 20-30 Volt dan 40-60 Volt, serta adanya tegangan hanyut yang diakibatkan oleh arus bocor dan arus input pada op-amp sehingga dari semua itu akan berpengaruh pada hasil output elektrometer.

Saran

Pada penelitian ini tegangan keluaran alat saat keadaan *discharging* langsung turun saat saklar dalam keadaan *On* karena sebuah kapasitor apabila dihubungkan dengan sumber arus searah, maka arus searah yang dapat mengalir hanya sesaat saja dalam waktu yang pendek sehingga pembacaan tegangan pada LCD masih sulit. Untuk itu disarankan pada penelitian selanjutnya menggunakan *hold* agar tegangan yang keluar tidak langsung turun. Selain itu disarankan agar memilih kabel yang memiliki kapasitansi dan hambatan mendekati nol sehingga saat digunakan untuk menyambung kapasitor tidak berpengaruh pada penelitian. Saran lain yaitu tidak menggunakan sumber tegangan dibawah 30 Volt agar nilai yang didapat lebih akurat dan diharapkan pada penelitian berikutnya agar alat ini dapat dikembangkan lagi sehingga tidak hanya digunakan untuk mengukur jumlah muatan dan kapasitansi tetapi bisa digunakan untuk mengukur

resistansi yang sangat tinggi atau untuk mengukur arus saturasi yang sangat rendah mendekati nol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Jurusan Fisika FMIPA yang telah memberikan fasilitas selama perkuliahan dan selama penelitian serta tidak lupa kepada Drs. Imam Suchyo, M.Si, Endah Rahmawati, S.T., M.Si., dan Tjipto Prastowo, Ph.D., yang telah membimbing, memberikan ilmu dengan sabar dan selalu memberi dukungan. Dan kepada teman-teman seangkatan jurusan Fisika yang telah menemani dan mendukung, Aghy Ali Mughny, Wahidusilmi, Latifah, Berla Maghda Putri Mahanani, Dyah Ayu Puspitasari, Muhammad Firdaus, Istiqomah, dan Walidah yang selalu menemani dalam suka dan duka.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. Coulomb Meter. Online, <http://www.dicks-website.eu/coulombmeter/enindex.htm>, diakses 02 September 2016
- Beaty, William J. 1999. Static Electricity means High Voltage, Measuring Your Body-Voltage. (Online), (<http://amasci.com/emotor/voltmeas.html>), diakses 11 Februari 2016
- Hull, Richard. 1998. An Experimenter's Electrometer. Bulletin of The SAS.Vol. 5, No. 1
- Intersil Corporation.1998. Data Sheet: CA3140, CA3140A (957.4). Intersil Corporation
- LD Physics Leaflets. Plate Capacitor: Parallel and Series Connection of Capacitors (P3.1.7.2). Germany: Leyboldstrasse 1 D-50354 Huert
- Robinson, Kelly S. 2009. Electrometer With In-Measurement Range Adjustment And Methods Thereof For Measuring Electrostatic Charge. Patent Doc, No. 20090045816